

# 審査の結果の要旨

氏 名 宇佐美 貴徳

本論文は「小型高感度な力検出ピエゾ抵抗型カンチレバー」と題し、6章から構成される。

微小な力を計測する方法として、シリコン単結晶を材料とし、表面にピエゾ抵抗を形成した片持ち梁（カンチレバー）が一般に用いられている。カンチレバー表面の歪に依存するピエゾ抵抗の抵抗値の変化から、歪に対応する微小な力を計測する方法である。このピエゾ抵抗型カンチレバーの感度を上げるためには、小さな寸法のカンチレバーを作成すればよいが、従来のフォトリソグラフィを用いる方法でサブミクロン以下のMEMS構造を作るには限界があり、また、薄いカンチレバー表面に限定的にピエゾ抵抗層を形成することも課題であった。これに対して本論文では、サブミクロン以下の脚幅と厚みと、十分薄いピエゾ抵抗層をもち、小型高感度のカンチレバーを実現することを目的としている。そのために、FIB(Focused Ion Beam)を用いるカンチレバーのパターニングを提案している。FIBを用いるとシリコンの結晶構造にダメージを与え、結果、電気的な特性が変わるので、シリコンを金膜で覆って保護するFIB加工を提案している。また、ドーパントを短時間熱拡散することによって厚みに対して十分薄いピエゾ抵抗層が形成できるとしている。この方法によって作成したピエゾ抵抗型力センサは、幾何学的相似なもので成り立つスケール則を満たし、微小な力を計測するためのピエゾ抵抗型カンチレバーのもつ課題を解決できるとしている。

第1章「序論」では、研究背景、従来研究とその課題、本研究の目的と意義について述べられている。

第2章「理論と設計」では、従来のカンチレバーにかかる力と歪の理論に基づいて、本論文で扱うカンチレバーの寸法に対する、力と歪と抵抗変化率の関係を求め、同時にシミュレーションによって確かめている。また、本論文で用いる熱拡散によるドーピングについて、温度と熱拡散時間をパラメータとして、SIMSによる、ウェハ表面からの深さとドーパント濃度との関係の計測結果を示している。

第3章「金属蒸着膜を用いたFIBナノ加工の提案手法と製作」では、結晶構造にダメージを与えないよう金膜で覆うことで保護し、FIBで加工する方法を提案している。これにより、デバイス層72nmのSOIウェハを用いて、厚さ72nm、幅0.5 $\mu$ mの最小寸法と、ダメージのない有効なピエゾ抵抗層をもつカンチレバーを試作している。このとき、FIBで取り去ったシリコンの加工幅の最小値は20nmであったとしている。

第4章「実験と考察」では、空気圧を使ってカンチレバーに力を加え、力に対する抵抗変化率を実験により求めている。本論文が提案しているスケールファクタを横軸、感度を縦軸としてプロットすると実験結果が整理できることを示している。また、電歪加振素子を用いてカンチレバーを加振し、光ヘテロダインを原理とする振幅計測装置を用いて、カンチレバーの機械的な周波数応答を計測して、得られた共振周波数をシミュレーションで得られたものと比較している。

第5章「結論」では、第4章において得られた実験結果に基づいて結論を述べている。

以上要するに、本論文では、従来よりも小型高感度に力を検出するピエゾ抵抗型カンチレバーを実現している。その方法として、金膜で覆って結晶構造にダメージを与えないFIB加工法を示し、最小加工幅20nmでのカンチレバー形状のパターニングを行っている。カンチレバーの感度がスケールファクタと比例関係にあることを示し、本論文で扱ったスケールで再利用可能な知識としてまとめている。これらは、携帯電話やヘルスケアデバイスで求められている高感度の圧力センサや角加速度センサなどへの応用が期待されるものである。この点から本論文は、知能機械情報学の発展に貢献したものであって、本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。